第 37 卷第 8 期
2017 年 4 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.8
Apr.,2017

DOI: 10.5846/stxb201410091984

江波,陈媛媛,肖洋,赵娟娟,欧阳志云.白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估.生态学报,2017,37(8):2497-2505.

Jiang B,Chen Y Y,Xiao Y,Zhao J J,Ouyang Z Y.Evaluation of the economic value of final ecosystem services from the Baiyangdian wetland.Acta Ecologica Sinica,2017,37(8):2497-2505.

白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估

江 波[1,2],陈媛媛[1],肖 洋[1],赵娟娟[3],欧阳志云[1,*]

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085

2 长江水资源保护科学研究所, 武汉 430051

3 西南大学,重庆 400715

摘要:白洋淀湿地是华北平原最大的淡水湿地,为不同尺度的受益者提供了多项生态系统服务。开展白洋淀湿地生态系统最终服务(final ecosystem services)价值评估能用直观的经济数据揭示白洋淀湿地生态系统对不同尺度受益者的直接贡献,为白洋淀湿地生态保护创建生态补偿等经济驱动机制。基于白洋淀湿地生态特征和受益者分析,确定了白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估指标体系,并以 2011 年可利用数据为基础,综合运用市场价值法、替代成本法、个体旅行费用模型法和支付卡式条件价值法评估了白洋淀湿地提供给人类的经济价值。评估结果表明:2011 年白洋淀湿地生态系统服务总价值为 35.55×10^8 元,其中调蓄洪水和休闲娱乐是白洋淀提供的主导服务。对所评估的 8 项生态系统最终服务按价值量排序,依次为调蓄洪水>休闲娱乐>淡水产品>原材料生产>非使用价值>水资源供给>释氧>固碳。评估结果比较全面地反映了白洋淀湿地对受益者的直接贡献,不仅能提高管理部门和受益者的湿地保护认知,也为管理部门确定白洋淀湿地生态补偿标准提供了重要数据基础。同时,评估指标的确定为区分白洋淀湿地生态系统中间服务和最终服务,构建白洋淀湿地生态系统服务监测指标体系,开展白洋淀湿地生态系统最终服务动态评价、权衡分析及驱动因子研究提供了重要方向,有助于湿地生态系统服务研究由静态评估向湿地生态系统服务的优化管理方向发展。

关键词:白洋淀;经济评估;最终服务

Evaluation of the economic value of final ecosystem services from the Baiyangdian wetland

JIANG Bo[1,2],CHEN Yuanyuan[1],XIAO Yang[1],ZHAO Juanjuan[3],OUYANG Zhiyun[1,*]

1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology*, *Research Center for Eco-Environmental Sciences*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100085, *China*

2 *Changjiang Water Resources Protection Institute*, *Wuhan* 430051, *China*

3 *Southwest University*, *Chongqing* 400715, *China*

Abstract: Baiyangdian Lake is the biggest freshwater lake in Northern China, and plays an important role in providing considerable benefits to the region. However, conflicting interests among different stakeholders is hindering cooperation in regulating regional environmental problems that threaten the ability of Baiyangdian Lake to sustain multiple ecosystem services flows. Final ecosystem services are components of nature that are explicitly connected to aspects of human well-being that have direct value to society. Economic valuation of Baiyangdian wetland ecosystem services can reveal the direct contribution of lake ecosystems to human well-being, which can inform the development of ecological compensation measures to incentivize cooperation among stakeholders toward reasonable wetland management. In this study, we first divided the ecosystem services of the Baiyangdian wetland into three categories based on the ‘The Economics of Ecosystems and Biodiversity’ and ‘Millennium Ecosystem Assessment’ frameworks: provisioning services, regulating services, and cultural

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201204201)

收稿日期:2014-10-09; **网络出版日期**:2016-10-19

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zyouyang@ rcees.ac.cn

services. Second, we established a final ecosystem services valuation system based on the interactions between Baiyangdian ecosystem characteristics and regional socio-economic conditions, and determined the final services of concern to policy makers that provide direct benefits to society to avoid double-counting. We then comprehensively valued the direct use value, indirect use value, and non-use value from the 8 final ecosystem services provided by Baiyangdian wetland for 2011, using the market price, replacement cost, individual travel cost, and contingent valuation (pay card) methods. The total value of the ecosystem services from Baiyangdian wetland was estimated to be 35.55×10^8 Yuan RMB for 2011. Based on the valuation results, the 8 final ecosystem services were ranked from greatest to lowest value as follows: flood control, recreation and tourism, aquatic products, raw material products, non-use value, water resources provision, oxygen release, and carbon sequestration. The values of flood control and recreation and tourism were 14.97×10^8 and 13.15×10^8 Yuan per year, accounting for 42.11% and 36.99% of the total value, respectively. The results of this study reflect the multiple contributions of the Baiyangdian wetland to regional stakeholders. This information will help to increase environmental awareness among both the public and decision-makers, and will be useful to managers for developing economic incentives to coordinate different stakeholders to minimize tradeoffs. Lastly, the final service indicator system presented in this paper offers guidance on establishing monitoring programs to incorporate ecosystem services into wetland management.

Key Words: Baiyangdian; economic valuation; final ecosystem services

白洋淀是华北平原最大的淡水湿地,为不同尺度的受益者了提供多项生态系统服务,对维持华北平原生态平衡也具有重要的作用。然而,白洋淀湿地是公共资源,其提供的大部分生态服务存在公共性和外部性问题。在气候变化、水利工程建设、人口增加和农业发展等多重因素驱动下,白洋淀入淀径流不断减少[1]、水污染问题日益加剧[2],造成湿地大面积萎缩、生态功能急剧退化。

千年生态系统评估将生态系统服务定义为“人类从生态系统中所获得的效益”,并将生态系统服务划分为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四大类,其中支持服务是其它服务产生的基础[3]。千年生态系统评估为研究生态系统与人类效益关系提供了重要依据[3],极大的推动了生态系统服务研究的发展。然而,千年生态系统评估主要停留在理论水平,缺乏在管理决策中的实际应用[4]。基于千年生态系统评估分类体系开展生态系统服务评估容易混淆生态系统功能和生态系统服务,造成重复计算[5-6]。为了避免生态系统服务重复计算,专家学者对生态系统服务分类体系进行了深入探讨[4-5,7],为区分生态系统中间服务和最终服务提供了理论基础。US EPA[8]和 TEEB[9]将生态系统服务定义为“生态系统对人类效益的直接或间接贡献”,尽管该定义并没有得到一致认可,却为区分生态系统中间服务、最终服务提供了重要基础。生态系统最终服务是人类直接利用生态系统的自然组分,或通过生态过程对人类效益的直接贡献,是与效益有直接关联的生态物质量或功能量[10-16]。而生态系统中间服务是产生生态系统最终服务的生态特征,包括生态系统过程和生态系统功能等生态属性,是无直接受益者的生态物质量或功能量[10-17]。区分生态系统中间服务和最终服务是评价生态系统对人类效益的直接贡献,提高价值核算有效性的重要保障。

近年来,为揭示白洋淀湿地对社会经济发展的重要支撑作用,国内学者针对白洋淀湿地生态系统服务展开了相应研究[18-21],用直观的生态经济数字揭示了白洋淀湿地对人类效益的重要贡献,不仅提高了公众和管理部门对白洋淀湿地重要性的认知,也为决策管理者制定白洋淀湿地保护政策提供了重要依据。但现有研究在确定白洋淀湿地生态系统服务评估指标体系时多混淆生态系统中间服务和最终服务,造成生态系统服务价值重复计算。而且由于数据缺乏,现有研究无法定量揭示白洋淀生态系统服务的动态变化、权衡关系及驱动机制,制约了生态系统服务研究在管理层面应用的适宜性。本文在参考生态系统最终服务研究的基础上[8-17],确定了白洋淀湿地生态系统最终服务评估指标体系和评估方法,评估结果为提高白洋淀湿地保护认知、制定白洋淀湿地生态补偿标准提供了重要基础。评估指标体系为区分生态系统中间服务和最终服务,避免重复计算提供了重要参考。评估方法和评估参数为构建生态系统服务监测指标体系,客观评价生态系统服务动态变化、权衡关系和驱动机制提供了重要方向,能有效避免生态系统服务评估过度依赖于效益转化法。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区域概况

白洋淀位于河北省中部(115°45′—116°06′E,38°44′—38°59′N),海河流域大清河水系中游,总面积 366 km^2(十方院大沽高程 10.5m),由水域、苇地、水生植被、居民点等组成,是华北平原最大的淡水湿地(图1),已被列入中国重要湿地名录。白洋淀在行政上隶属保定市安新县、高阳县、雄县、容城县和沧州市的任丘县管辖,其中安新辖区最大,约占总面积的 78.1%。当水位为 8.8m(大沽高程)时,85.6%的水域分布于安新县境内。

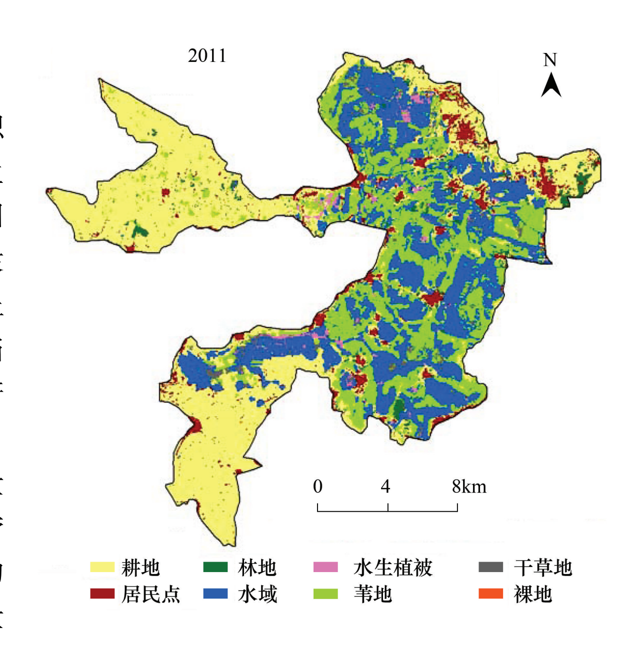


图 1　白洋淀湖区土地覆盖示意图

Fig.1　Land coverage of Baiyangdian Lake

白洋淀多年平均气温 7—12℃,多年平均降水量 550mm,多年平均蒸发量为 1637mm。因其地处暖温带大陆季风气候区,降水的年内和年际差异很大,80%的降水量集中在 7—9 月,最大年降水量是最小年降水量的 3.6 倍[21]。白洋淀湿地物产丰富,盛产鱼、虾、蟹、贝等水产品,芦苇、荷花等景观植物面积大、分布广,不仅是我国重要的淡水产品生产基地、苇制品生产加工和出口基地和旅游休闲地,白洋淀还是大清河系中重要的蓄水枢纽,具有缓洪、治涝和蓄水灌溉的重要功能,对当地气候调节和生物多样性保护也有不可替代的作用。然而,社会经济的快速发展、人口数量的快速增加和土地利用方式的改变,加剧了对水资源的占有和使用,改变了白洋淀湿地生态系统维持自身结构完整性所需要的水文条件,白洋淀出现了一系列生态环境问题,对区域社会经济可持续发展造成了严重威胁。为了全面地反映白洋淀湿地对人类效益的直接贡献,本文评价对象为白洋淀水域、苇地和水生植被区等土地覆盖类型。

1.2　评估指标体系与数据来源

生态系统最终服务是生态系统对人类效益的直接贡献。本研究结合白洋淀湿地生态系统特征及其所在区域社会经济特征,在考虑白洋淀湿地生态系统服务不同尺度受益者的基础上,将白洋淀湿地生态系统服务划分为供给服务、调节服务和文化服务,并建立了白洋淀湿地生态系统最终服务评估指标体系(表 1)。评估数据主要来自于《保定经济统计年鉴 2012 年》、安新水利局 1980—2012 年水文监测资料、文献资料及 2012 年和 2013 年白洋淀文化苑景区和荷花大观园景区游客及安新县居民面访式问卷调查等。

表 1　白洋淀湿地生态系统最终服务评估指标体系

Table 1　Final ecosystem service evaluation index of Baiyangdian wetland

生态系统最终服务类型 Final ecosystem service types	核算指标 Evaluation index	评估方法 Evaluation method
供给服务 Provisioning services	淡水产品	市场价值法
	原材料生产	
	水资源供给	
调节服务 Regulating services	调蓄洪水	替代成本法
	固碳	造林成本法
	释氧	工业制氧价格法
文化服务 Cultural services	休闲娱乐	个体旅行费用法
	非使用价值(选择价值、遗产价值和存在价值)	条件价值法

1.3 评估方法与评估参数

1.3.1 供给服务价值

1)淡水产品(鱼、虾、蟹等水产品)供给价值

$$V_{p1} = Q_{p1} \times P_{p1} \quad (1)$$

式中,V_{p1}为淡水产品供给价值;Q_{p1}为淡水产品产量;P_{p1}为水产品单价。

2)原材料生产价值

$$V_{p2} = Q_{p2} \times P_{p2} \quad (2)$$

式中,V_{p2}为原材料生产价值;Q_{p2}为原材料生产量;P_{p2}为原材料单价。

3)水资源供给价值

$$V_{p3} = (Q_{p3\text{-}1} + Q_{p3\text{-}2} - Q_{p3\text{-}3} - Q_{p3\text{-}4} - Q_{p3\text{-}5}) \times P_{p3} \quad (3)$$

式中,V_{p3}为水资源供给价值;$Q_{p3\text{-}1}$为入淀径流量;$Q_{p3\text{-}2}$为降水量;$Q_{p3\text{-}3}$为出淀径流量;$Q_{p3\text{-}4}$为蒸发量;$Q_{p3\text{-}5}$为蓄水量变化;P_{p3}为单位平均水价。

1.3.2 调节服务价值

1)调蓄洪水价值

$$V_{ri} = (Q_{ri\text{-}1} - Q_{ri\text{-}2}) \times P_{r1} \quad (4)$$

$$V_{r1} = \sum_{i=1}^{n} V_{ri} \quad (5)$$

式中,V_{r1}为调洪蓄水价值;V_{ri}为每一次洪水调蓄期调洪蓄水价值;$Q_{ri\text{-}1}$为水位连续增加时段内最高水位对应的蓄水量;$Q_{ri\text{-}2}$为水位连续增加时段内最低水位对应的蓄水量;P_{r1}为单位库容水库建造成本;n 为洪水调蓄次数。

2)固碳价值

$$V_{r2} = Q_{r2} \times P_{r2} \quad (6)$$

式中,V_{r2}为固碳价值;Q_{r2}为白洋淀固碳量;P_{r2}为造林成本价格。

3)释氧价值

$$V_{r3} = Q_{r3} \times P_{r3} \quad (7)$$

式中,V_{r3}为释氧价值;Q_{r3}为白洋淀释氧量;P_{r3}为工业制氧价格。

1.3.3 文化服务价值

1)休闲娱乐价值

$$V_{c1} = TE + TV + CS \quad (8)$$

式中,V_{c1}为休闲娱乐价值;TE 为旅行费用支出;TV 为旅行时间成本;CS 为消费者剩余。

2)非使用价值

$$V_{c2} = W \times R \times P \quad (9)$$

式中,V_{c2}为白洋淀湿地保护非使用价值;W 为人均支付意愿;R 为支付意愿率;P 为支付群体数。

2 结果与分析

2.1 供给服务价值

2.1.1 淡水产品价值

白洋淀水域广阔,盛产鱼虾,是华北平原最大的渔业生产基地。水产业一直是周边居民赖以生存的产业。随着水产业的发展,白洋淀淀区发展了网箱、网围和围堤等养殖技术,水产品产量大量增加。2011 年白洋淀淡水产品产量达 3.08×10^4 t,水产品产值 3.62×10^8 元[22]。

2.1.2 原材料生产价值

芦苇是白洋淀淀区人民赖以生存的主要经济作物[23]。白洋淀芦苇收割后,40%上等芦苇用于打箔,单位

芦苇价值为 7000 元/t,40%中等芦苇用于编席,单位芦苇价值为 4000 元/t,20%下等芦苇用于造纸,单位芦苇价值为 300 元/t[18]。2011 年白洋淀芦苇产量 3.74×10^4t,以此估算白洋淀原材料生产价值为 1.67×10^8元。

2.1.3　水资源供给价值

白洋淀作为华北平原最大的淡水湿地,接纳来自上游八条河流的径流补给,不仅为周边居民生产生活提供水资源,而且由于地下水开采严重,白洋淀的渗漏损失对于地下水涵养也具有明显的作用。根据式(3),计算得到白洋淀 1980—2007 年多年年平均补给地下水和供给生产生活用水总量为 $0.98\times10^8 m^3$,水价根据《全国水利发展统计公报》水利工程水价[24],取 0.5 元/m^3,则白洋淀 1980—2007 年多年平均水资源供给价值为 0.49×10^8元/a,由于 2011 年数据缺乏,以此值作为 2011 年水资源供给价值。

2.2　调节服务价值

2.2.1　调蓄洪水价值

白洋淀湿地是大清河流域重要的蓄滞洪区,承接大清河南支潴龙河、唐河、府河、漕河、瀑河、萍河、孝义河及北支白沟引河洪沥水,具有缓洪滞沥的重要功能。本研究以 2012 年汛期日平均水位为例,对白洋淀调蓄洪水服务进行评估。2012 年 7 月 26 日—7 月 27 日,水位从 6.65m 急剧上升为 7.43m,以此作为第 1 次洪水发生周期,计算该时间调蓄洪水量为 $0.81\times10^8 m^3$。除此之外,从 7 月 30 日到 9 月 30 日,白洋淀水位一直保持增加或稳定趋势。根据式(4),以 9 月 30 日水位对应的蓄水量 $2.90\times10^8 m^3$和 7 月 30 日水位对应的蓄水量 $1.26\times10^8 m^3$之差作为第 2 次洪水发生周期内调蓄洪水量,为 $1.64\times10^8 m^3$。结合式(5)得到 2012 年白洋淀调蓄洪水总量为 $2.45\times10^8 m^3$,单位库容水库造价 6.11 元/t[25]。则白洋淀调蓄洪水价值为 14.97×10^8元,以此作为 2011 年调蓄洪水价值。

2.2.2　固碳价值

白洋淀 2011 年芦苇产量为 3.74×10^4t[22],以此数据估算白洋淀固碳价值,根据光合作用方程,植物每生产 1kg 干物质,能固定 1.63kgCO_2。计算得到白洋淀 2011 年固碳量为 1.66×10^4t,CO_2造林成本为 1320 元/t 碳[26],则 2011 年白洋淀固碳价值为 0.22×10^8元。

2.2.3　释氧价值

白洋淀 2011 年芦苇产量为 3.74×10^4t[22],根据光合作用方程,植物每生产 1kg 干物质,向空气中释放 1.2kgO_2。计算得到白洋淀 2011 年释氧量为 4.49×10^4t,氧气价格采用中华人民共和国卫生部网站(http://wsb.moh.gov.cn/)的氧气价格,为 1000 元/t,则 2011 年白洋淀释氧价值为 0.45×10^8元。

2.3　文化服务价值

2.3.1　休闲娱乐价值

为研究白洋淀休闲娱乐价值,于 2012 年 5 月在白洋淀文化苑景区对游客进行拦截式面访调查,发放问卷 205 份,由于部分问卷关键信息回答不清楚或不完全,最后用于计算休闲娱乐价值的有效问卷为 182 份。根据式(8)计算休闲娱乐价值,主要包括旅行费用支出、时间成本和消费者剩余。

1)人均旅行成本　根据问卷调查,统计游客在白洋淀旅游过程中所发生的全部费用和全部时间,时间价值按照游客日工资率的 30%进行计算[27-29],求得游客在白洋淀景区的人均旅行费用支出和人均时间成本分别为 52.47 元/次和 343.33 元/次。

2)人均消费者剩余　采用个体旅行费用模型估算游客消费者剩余价值,考虑到因变量(游客旅行次数)为非负整数,可能存在过度分布和零截断问题,选用标准分布泊松回归模型、过度分布泊松回归模型、负二项式分布模型及零截断泊松回归模型进行模拟。根据评估结果的对数函数最大似然值和 AIC 值,选取零截断泊松回归模型估算消费者剩余价值。估算得到白洋淀游客人均消费者剩余为 578.03 元/次。

白洋淀 2011 年旅游人次达 135×10^4人/次,根据人均旅行费用支出、人均时间成本、人均消费者剩余,结合式(8)得到 2011 年白洋淀休闲娱乐价值为 13.15×10^8元。

2.3.2　非使用价值

采用支付卡式条件价值法对白洋淀非使用价值进行评估,分别于 2012 年 5 月、2012 年 9 月和 2013 年

7 月在白洋淀文化苑景区、荷花大观园景区对游客进行拦截式面访调查,发放问卷 440 份,由于部分问卷关键信息回答不清楚或不完全,回收有效问卷 401 份进行非使用价值评估。于 2012 年 5 月对安新县居民进行入户调查,发放问卷 141 份,回收有效问卷 129 份,分安新县县城居民和安新县乡镇居民进行非使用价值分析。

1)游客非使用价值 利用表 2 数据,采用区间式对数正态分布函数估算白洋淀景区游客的人均支付意愿值(区间中值平均值)为 11.31 元/月,根据 Van der Heide[30] 等对抗议性支付比例的处理,则支付意愿比例按 83.44%进行计算。白洋淀 2011 年旅游人次为 135×10^4 人/次,被访者平均旅游次数为 1.52 次/年,假定每 4 个游客中有 1 个小孩(没有任何支付能力),剔掉游客中来自安新县的 7.04%的群体,得到白洋淀景区游客支付群体数为 61.92×10^4 人。结合式(9)计算得到白洋淀提供给游客的非使用价值为 0.70×10^8 元。

表 2 不同利益相关者支付意愿

Table 2 Willingness to pay among different stakeholders

支付意愿值 WTP Willingness to pay/(元/月)	游客 Tourists		安新县城居民 Residents in Anxin county		安新乡镇居民 Residents in Anxin villages and towns	
	频数 Counts/人	频率 Frequency/%	频数 Counts/人	频率 Frequency/%	频数 Counts/人	频率 Frequency/%
0	153	38.15	33	39.76	7	15.22
1—5	48	11.97	20	24.10	10	21.74
5—10	74	18.45	11	13.25	5	10.87
10—15	29	7.23	6	7.23	5	10.87
15—20	26	6.48	6	7.23	6	13.04
20—25	16	3.99	1	1.20	2	4.35
25—30	13	3.24	2	2.41	3	6.52
30—35	7	1.75	1	1.20	1	2.17
35—40	0	0.00	0	0.00	1	2.17
40—45	1	0.25	0	0.00	0	0.00
45—50	21	5.24	2	2.41	4	8.70
>50	13	2.20	1	1.20	2	4.35
合计 Total	401	100.0	83	100.0	46	100.00

2)安新县城居民非使用价值 利用表 2 数据,采用区间式对数正态分布函数估算安新县县城居民的人均支付意愿值(区间中值平均值)为 11.89 元/月,根据 Van der Heide[30] 等对抗议性支付比例的处理,支付意愿比例按 90.49%进行计算。安新县 2011 年县城总人口数为 2.90×10^4 人,没有支付能力的群体比例为 18.05% (年龄在 14 岁及以下),则总支付群体数为 2.37×10^4 人。结合式(9)计算得到白洋淀提供给安新县城居民的非使用价值为 0.03×10^8 元。

3)安新乡镇居民非使用价值 利用表 2 数据,采用区间式对数正态分布函数估算安新县乡镇居民的人均支付意愿值(区间中值平均值)为 7.38 元/月,根据 Van der Heide[30] 等对抗议性支付比例的处理,支付意愿比例按 83.70%进行计算。安新县 2011 年乡镇总人口数为 41.48×10^4 人,没有支付能力的群体比例为 18.05% (年龄在 14 岁及以下),则总支付群体数为 33.99×10^4 人。结合式(9)计算得到白洋淀提供给安新乡镇居民的非使用价值为 0.25×10^8 元。

综合考虑游客和居民非使用价值,则白洋淀非使用价值为 0.98×10^8 元。

2.4 生态系统最终服务总价值

本研究结合白洋淀湿地生态系统特征及其所在区域社会经济特征,在考虑白洋淀生态系统服务不同尺度受益者的基础上,评估了 2011 年白洋淀湿地生态系统最终服务价值。根据本文的评估结果,2011 年白洋淀湿地生态系统提供的 8 项最终服务总价值为 35.55×10^8 元,其中供给服务价值 5.78×10^8 元,占总价值的 16.26%;调节服务价值 15.64×10^8 元,占总价值的 43.99%;文化服务价值 14.13×10^8 元,占总价值的 39.75%(表 3)。2011 年,白洋淀提供的主导服务为调蓄洪水和休闲娱乐,分别占总价值的 42.11%和 36.99%。对所评估

的 8 项生态系统最终服务按价值量排序,依次为调蓄洪水>休闲娱乐>淡水产品>原材料生产>非使用价值>水资源供给>释氧>固碳(表 3)。2011 年白洋淀湿地总面积 157.29 km^2(包括水生植被、水域、芦苇),则白洋淀湿地单位面积生态系统服务价值为 $22.60×10^4$元/hm^2。

表 3　白洋淀 2011 年生态系统最终服务价值

Table 3　Results of the final ecosystem service values of Baiyangdian Lake

湿地生态系统最终服务类型 Final ecosystem service types	计算指标 Indicators calculated	物质量 Biophysical output	价值量/($×10^8$元)	所占比例/%
淡水产品 Aquatic products	淡水产品产量	$3.08×10^4$t	3.62	10.18
原材料生产 Raw material products	芦苇产量	$3.74×10^4$t	1.67	4.70
水资源供给 Water provision	供水量	$0.98×10^8 m^3$	0.49	1.38
调蓄洪水 Flood control	洪水调蓄量	$2.45×10^8 m^3$	14.97	42.11
固碳 Carbon sequestration	固碳量	$1.66×10^4$t	0.22	0.62
释氧 Oxygen release	释氧量	$4.49×10^4$t	0.45	1.26
休闲娱乐 Recreation and tourism	旅游费用支出,旅行时间价值,消费者剩余	$135×10^4$人/次	13.15	36.99
非使用价值 Non-use value	自己或别人将来有机会利用,作为一份遗产留给子孙后代,确保景观资源永远存在		0.98	2.76
合计 Total			35.55	100

3　结论与讨论

(1)2011 年白洋淀湿地生态系统提供的 8 项最终服务总价值为 $35.55×10^8$元,调节服务价值是 3 大类生态系统最终服务中价值最高的,占总价值的 43.99%,文化服务价值次之,占总价值的 39.75%。2011 年白洋淀湿地面积仅为安新县面积的 21.72%,但其生态系统最终服务价值为 2011 年安新县生产总值的 56.21%。湿地单位面积最终服务价值是 2011 年安新县单位面积生产总值的 2.59 倍。评估结果用直观的数据说明白洋淀湿地为受益者带来了巨大效益,揭示了保护白洋淀湿地、避免白洋淀湿地过度开发利用的重要性。评估结果不仅能提高公众和管理决策者的生态保护意识,也可以为生态补偿等经济驱动机制的创建提供参考依据,评估参数和评估方法为白洋淀湿地生态动态监测提供了依据。

(2)在所评估的 8 项生态系统最终服务价值中,调蓄洪水服务和休闲娱乐服务价值占总价值的 79.10%,说明调蓄洪水和休闲娱乐服务是白洋淀湿地的主导生态系统服务。从单项服务价值量看,调蓄洪水服务价值为 $14.97×10^8$元,占总价值的 42.11%,说明白洋淀湿地具有蓄洪减灾的重要作用。休闲娱乐服务价值仅次于调蓄洪水服务,占总价值的 36.99%,这与安新县旅游局大力开发旅游资源,白洋淀休闲旅游人次迅速增加有关。随着社会经济的发展,人们对白洋淀旅游资源的需求将不断增加,会进一步加剧白洋淀自然景观人为化和白洋淀水质污染,对白洋淀湿地功能将产生很大影响,一旦造成不可逆破坏,白洋淀湿地功能将完全丧失。因此,在开发白洋淀旅游资源时,要充分协调白洋淀湿地生态系统最终服务之间的权衡关系,加大白洋淀湿地生态系统管理力度和利益相关者生态系统服务认知。

(3)相比于以往研究[18-20],本研究在确定白洋淀湿地生态系统服务评估指标体系时,综合考虑了白洋淀湿地生态特征、区域社会经济特征及不同尺度受益者(白洋淀湿地对人类效益的直接贡献),区分了白洋淀湿地生态系统中间服务和最终服务。评估指标的选取具备一定的科学性,为区分生态系统中间服务和最终服务,构建生态系统服务动态监测和评估指标提供了重要方向,对于白洋淀湿地生态系统服务时空变化分析、权衡分析、生态生产函数构建具有重要意义。同时评估方法也是基于目前国内外比较流行的经济评估方法,如条件价值法、个体旅行费用模型等,避免了直接使用效益转化法而产生的评估偏差,为今后湿地生态系统服务评价的精细化计算提供了借鉴。

(4)本研究存在一定的局限性。①由于基础数据缺乏和经济价值评估方法的局限性,本研究对白洋淀湿

地生态系统最终服务评估还不够全面,如未考虑白洋淀湿地水质净化服务和气候调节服务。另外,本研究未开展评价参数随时间变化对生态系统服务价值组成的影响,部分评价参数相对较早,无法准确反映评估基准年提供的生态系统服务价值。②本研究评估的非使用价值比较低,这与选取的支付群体数有一定的关系。白洋淀湿地是华北平原的重要湖泊资源,从理论上来说,全河北乃至整个华北平原都是白洋淀湿地非使用价值的受益者,对白洋淀湿地保护都有潜在的支付意愿。本文在评估非使用价值时,只考虑了安新县居民和白洋淀湿地景区游客,主要是因为安新县居民和游客是白洋淀湿地生态系统服务的直接受益者,是最有可能有支付意愿的群体,而白洋淀湿地游客本身来自全国,可以反映国家尺度的受益者需求。③白洋淀湿地是一个复杂的生态系统,其生态系统服务受到白洋淀流域上游水利工程建设、人口增加、工农业生产及气候变化等诸多因素的综合影响。静态评估结果无法反映白洋淀湿地生态系统服务在时间上的变化趋势,也无法反映驱动因子对白洋淀湿地生态系统服务及其权衡关系的影响,研究结果在管理决策的应用有一定的局限性。

(5)最终服务价值评估指标的全面性、数据的可利用性、评估方法的选择是影响生态系统最终服务价值的重要因素。但生态系统服务研究不应局限于生态系统服务价值的核算,其评估结果应为管理决策服务。确定生态系统最终服务指标并开展动态监测[31-32]是湿地生态系统服务精细化评估、湿地生态系统服务动态变化、湿地生态系统服务权衡关系、湿地生态系统服务空间流动和转移特征、湿地生态系统服务驱动机制研究的必要环节,是将生态系统服务纳入管理决策的重要手段。本研究以白洋淀湿地为例开展生态系统最终服务价值评价,说明了生态系统服务动态监测的重要性。随着湿地生态系统服务评估指标、数据监测和评估方法的不断完善,生态系统服务评估在湿地管理层面应用的效能将不断提高。

致谢:中国科学院生态环境研究中心董天博士,首都师范大学张玲博士、徐跃硕士,河北大学董梦荟硕士、方慷硕士帮助问卷调查,安新县水利局、安新县旅游局帮助提供数据,特此致谢。

参考文献(References):

[1] Zhuang C W, Ouyang Z Y, Xu W H, Bai Y, Zhou W Q, Zheng H, Wang X K. Impacts of human activities on the hydrology of Baiyangdian Lake, China. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(7): 1343-1350.

[2] 张婷, 刘静玲, 王雪梅. 白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析. 环境科学学报, 2010, 30(2): 261-267.

[3] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.

[4] Brendan Fisher, Kerry Turner, Matthew Zylstra, Roy Brouwer, Rodolf de Groot, Stephen Farber, Paul Ferraro, Rhys Green, David Hadley, Julian Harlow, Paul Jefferiss, Chris Kirkby, Paul Morling, Shaun Mowwat, Robin Naidoo, Jouni Paavola, Bernardo Strassburg, Doug Yu, Andrew Balmford. Ecosystem services and economic theory: integration for policy-relevant research. Ecological Applications, 2008, 18(8): 2050-2067.

[5] Ken J Wallace. Classification of ecosystem services: problems and solutions. Biological Conservation, 2007, 139(3/4): 235-246.

[6] Fu B J, Su C H, Wei Y P, Ian R Willett, Lü Y H, Liu G H. Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures. Ecological Research, 2011, 26(1): 1-14.

[7] Robert Costanza. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. Biological Conservation, 2008, 141(2): 350-352.

[8] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Valuing the Protection of Ecological Systems and Services. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2009.

[9] TEEB Foundations. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. London: Earthscan, 2010.

[10] James W Boyd. The endpoint problem. Resources, 2007, 165: 26-28.

[11] James Boyd, Spencer Banzhaf. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, 2007, 63(2/3): 616-626.

[12] Bewndan Fisher, R Kerry Turner, Paul Morling. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 2009, 68(3): 643-653.

[13] Robert J Johnston, Marc Russell. An operational structure for clarity in ecosystem service values. Ecological Economics, 2011, 70(12): 2243-2249.

[14] Amanda M Nahlik, Mary E Kentula, M Siobhan Fennessy, Dixon H Landers. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem

service concepts into practice. Ecological Economics, 2012, 77: 27-35.

[15] Paul L Ringold, James Boyd, Dixon Landers, Matt Weber. What data should we collect? A framework for identifying indicators of ecosystem contributions to human well-being. Frontiers in Ecology and the Environment, 2013, 11(2): 98-105.

[16] Bonnie L Keeler, Stephen Polasky, Kate A Brauman, Kris A Johnson, Jacques C Finlay, Ann O'Neill, Kent Kovacs, Brent Dalzell. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(45): 18619-18624.

[17] Christina P Wong, Jiang B, Ann P Kinzig, Kai N Lee, Ouyang Z Y. Linking ecosystem characteristics to final ecosystem services for public policy. Ecology Letters, 2015, 18(1): 108-118.

[18] 李建国, 李贵宝, 王殿武, 解惠贤. 白洋淀湿地生态系统服务功能与价值估算的研究. 南水北调与水利科技, 2005, 3(3): 18-21.

[19] 张素珍, 王金斗, 李贵宝. 安新县白洋淀湿地生态系统服务功能评价. 中国水土保持, 2006, (7): 12-15.

[20] 张培, 董谦, 许月明. 白洋淀湿地非使用价值个人支付意愿及影响因素分析. 乡镇经济, 2008, 24(4): 16-19.

[21] 张赶年, 曹学章, 毛陶金. 白洋淀湿地补水的生态效益评估. 生态与农村环境学报, 2013, 29(5): 605-611.

[22] 保定市统计局. 保定经济统计年鉴 2012. 保定: 保定市统计局, 2012.

[23] 安新县地方志编著委员会. 安新县志. 北京: 新华出版社, 2000.

[24] 中华人民共和国水利部. 2011 年全国水利发展统计公报. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.

[25] 国家林业局. LY/T 1721-2008 中华人民共和国林业行业标准: 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[26] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.

[27] Dong R Chae, Premachandra Wattage, Sean Pascoe. Recreational benefits from a marine protected area: A travel cost analysis of Lundy. Tourism Management, 2012, 33(4): 971-977.

[28] Kalyan Chakraborty, John E Keith. Estimating the recreation demand and economic value of mountain biking in Moab, Utah: an application of count data models. Journal of Environmental Planning and Management, 2000, 43(4): 461-469.

[29] Christopher M Fleming, Averil Cook. The recreational value of Lake McKenzie, Fraser Island: An application of the travel cost method. Tourism Management, 2008, 29(6): 1197-1205.

[30] C Martijn Van der Heide, Jeroen C J M Van den Bergh, Ekko C Van Ierland, Paulo A L D Nunes. Economic valuation of habitat defragmentation: A study of the Veluwe, the Netherlands. Ecological Economics, 2008, 67(2): 205-216.

[31] Stephen R Carpenter, Harold A Mooney, John Agard, Doris Capistrano, Ruth S DeFries, Sandra Díaz, Thomas Dietz, Anantha K Duraiappah, Alfred Oteng-Yeboah, Henrique Miguel Pereira, Charles Perrings, Walter V Reid, José Sarukhan, Robet J Scholes, Anne Whyte. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(5): 1305-1312.

[32] Ralf Seppelt, Carsten F Dormann, Florian V Eppink, Sven Lautenbach, Stefan Schmidt. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(3): 630-636.